

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 9 年 6 月 2 3 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年特許願第 1 7 6 6 8 1 号

出 願 人

Applicant (s):

株式会社日立製作所



2 0 0 0 年 4 月 2 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦

出証番号 出証特 2 0 0 0 - 3 0 2 8 5 8 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 PNT990356

【提出日】 平成11年 6月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01J 37/21

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内

【氏名】 渡辺 正浩

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 品田 博之

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 ▲高▼藤 敦子

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市市毛 8 8 2 番地 株式会社日立製作所 計測器グループ内

【氏名】 飯塚 正美

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市市毛 8 8 2 番地 株式会社日立製作所 計測器グループ内

【氏名】 郡司 康弘

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市市毛 8 8 2 番地 株式会社日立製作所 計測器グループ内

【氏名】 早川 功一

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県ひたちなか市市毛 8 8 2 番地 株式会社日立製作所
計測器グループ内

【氏名】 武田 昌剛

【特許出願人】

【識別番号】 000005108

【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【代理人】

【識別番号】 100061893

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 明夫

【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100086656

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 恭助

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011626

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 荷電粒子線装置および自動非点収差調整方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料を設置するステージと、

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、

該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、

前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する粒子画像を検出して 2 次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、

該粒子画像検出手段から得られる 2 次元の粒子画像に基いて前記収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを算出する画像処理手段と、

該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、前記画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を前記焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 2】

試料を設置するステージと、

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、

該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、

前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する2次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、

該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する2次元の粒子画像に基いて前記収束荷電粒子ビームの非点隔差を算出する画像処理手段と、

該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項3】

試料を設置するステージと、

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、

該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、

前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する2次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、

該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する2次元の粒子画像に基いて前記収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを算出する画像処理手段と、

該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、前記画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を前記焦点制御手段にフィードバックして収束荷電

粒子ビームの焦点を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 4】

試料を設置するステージと、

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、

該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、

前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、

該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度における合焦位置を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての合焦位置の関係から前記収束荷電粒子ビームの非点隔差を算出する画像処理手段と、

該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】

試料を設置するステージと、

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、

該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、

前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、

前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、

該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度における合焦位置を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての合焦位置の関係から前記収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを算出する画像処理手段と、

該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、前記画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を前記焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 6】

前記試料上には、少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 または 3 または 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 7】

前記試料上には、一方向のエッジ成分を有するパターンを形成した少なくとも 3 つの領域を有して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 または 3 または 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 8】

前記画像処理手段において、少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を、少なくとも 3 方向の方向性微分演算によって求めるように構成したことを特徴とする請求項 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 9】

前記画像処理手段において、少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を、少なくとも 3 方向の粒子画像の振幅を算出することによって求めるように構成したことを特徴とする請求項 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 0】

前記画像処理手段において、少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を、粒子画像のフーリエスペクトルから少なくとも 3 方向のパターン成分に対するテクスチャの強度によって求めるように構成したことを特徴とする請求項 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 1】

前記粒子画像検出手段を、前記焦点制御手段を制御することによって試料上から複数の焦点位置を有する粒子画像を検出するように構成したことを特徴とする請求項 2 または 3 または 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 2】

前記粒子画像検出手段を、試料上の異なる複数の領域から複数の焦点位置を有する粒子画像を検出するように構成したことを特徴とする請求項 2 または 3 または 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 3】

前記試料が、傾けた試料、若しくは階段状の段差を持った試料であることを特徴とする請求項 1 2 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 4】

前記試料に対して高速に焦点位置を変化させながら収束荷電粒子ビームを走査して照射することを特徴とする請求項 1 2 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 5】

前記画像処理手段における非点隔差としては、非点隔差の大きさと方向または非点隔差のベクトルであることを特徴とする請求項 1 または 2 または 3 または 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 6】

更に、前記制御系によって少なくとも非点収差が調整制御された収束荷電粒子

ビームを前記走査手段によって被対象基板上に走査して照射して該被対象基板上から発生する粒子画像を前記粒子画像検出手段により検出するように構成し、この検出される粒子画像に基いて前記被対象基板上に存在する欠陥を検査する欠陥検査画像処理手段を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 または 3 または 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 7】

更に、前記制御系によって少なくとも非点収差が調整制御された収束荷電粒子ビームを前記走査手段によって被対象基板上に走査して照射して該被対象基板上から発生する粒子画像を前記粒子画像検出手段により検出するように構成し、この検出される粒子画像に基いて前記被対象基板上に存在するパターンの寸法を計測する計測画像処理手段を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 または 3 または 4 または 5 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 8】

更に、被対象基板上の高さを光学的に検出する高さ検出手段を備え、該高さ検出手段によって光学的に検出された被対象基板上の高さに基いて前記焦点制御手段を制御するように構成したことを特徴とする請求項 1 6 または 1 7 記載の荷電粒子線装置。

【請求項 1 9】

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する粒子画像を粒子画像検出手段で検出して 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、

該第 1 の過程で得られた 2 次元の粒子画像に基いて収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを画像処理手段によって算出する第 2 の過程と、

該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、更に前記算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法。

【請求項 2 0】

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、

該第 1 の過程で得られた複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像に基いて収束荷電粒子ビームの非点隔差を画像処理手段によって算出する第 2 の過程と、

該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法。

【請求項 2 1】

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、

該第 1 の過程で得られた複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像に基いて収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを画像処理手段によって算出する第 2 の過程と、

該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、更に前記算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法。

【請求項 2 2】

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の

焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、

該第 1 の過程で得られた複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度における合焦位置を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての合焦位置の関係から収束荷電粒子ビームの非点隔差を算出する第 2 の過程と、

該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法。

【請求項 2 3】

荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、

該第 1 の過程で得られた複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度における合焦位置を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての合焦位置の関係から収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを算出する第 2 の過程と、

該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、更に前記算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、荷電粒子ビームを用いて高精度の検査・計測や加工等を行う荷電粒子光学系における非点収差等を自動調整する荷電粒子線装置および自動非点収差調整方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

例えば、半導体ウェハなどに形成された微細回路パターンを検査・計測するための自動検査システムとして、電子線顕微鏡が用いられてきている。欠陥検査の場合には、走査電子顕微鏡から検出される電子線画像を用いて検出画像と基準となる参照画像とを比較して行われている。また、半導体装置の製造プロセス条件の設定やモニタなどに使用される微細回路パターンの線幅や穴径などを測定する場合には、走査型電子顕微鏡から検出される電子線画像を用いて画像処理による測長が行われている。

このように、パターンの電子線像を比較することによりその欠陥を検出する比較検査や、電子線像を処理してパターンの線幅などを測定する場合には、得られる電子線像の質がその検査結果の信頼性に多大な影響を与える。電子線像の質は、電子光学系の収差や、デフォーカスによる解像度の低下などにより劣化する。これらの像質の劣化は検査感度や測長の性能を低下させる。また、これらの画像ではパターンの幅が変化したり、画像のエッジ検出の結果が安定して得られなくなるため、欠陥の検出感度や、パターンの線幅や穴径の測定結果が不安定になることとなる。

【0003】

従来、電子線光学系の焦点・非点収差合わせは、電子線像を目で観察しながら対物レンズの制御電流と2組の非点収差補正コイルの制御電流を調節することにより行っている。焦点合わせは、対物レンズに流す電流を変えることによってビームの収束高さを変えることによって実現できる。

このように、電子線像を目で観察しながら対物レンズの制御電流と2組の非点

収差補正コイルの制御電流を調節する方法は多くの時間を要するのに加え、電子線で試料表面を何度も走査することとなり、試料へのダメージも問題となる可能性がある。また、手動で調整を行なうと調整結果に個人差がでてしまう。また、通常、非点収差や焦点位置の時間変動が生じるため、自動検査や測長を行なう場合に、定期的に人が非点収差・焦点位置の調整を行なう必要があり、自動化の妨げになっていた。

【0004】

このような課題を解決するために、従来からさまざまな自動非点収差補正方法が提案されてきた。例えば、特開平7-153407号公報（従来技術1）には、荷電粒子線の2次元の走査により、試料から得られる2次電子信号を微分して変化状態の大きいデジタルデータを抽出し、この抽出されたデジタルデータに対応する試料上の位置を求め、この求められた位置を中心に対物レンズに流す励磁を変化させながらX方向のみおよびY方向のみに荷電粒子線を走査し、これら各走査によって得られた2次電子信号のデジタルデータの最大値でX方向の焦点情報およびY方向の焦点情報を検出し、これらX方向の焦点情報およびY方向の焦点情報から対物レンズに流す電流を決定して対物レンズに送出し、その後非点収差補正コイルに流す電流を変化させてXまたはYの一方向に荷電粒子線を走査し、得られた2次電子信号のデジタルデータの最大値で非点収差補正コイルに流す電流値を決定して送出する荷電粒子線の焦点調節と非点収差調節とを行う装置が記載されている。

【0005】

また、特開平9-161706号公報（従来技術2）では、さまざまな方向に電子線をスキャンしながら焦点を振ることによって非点収差の方向を求めてから、この方向のみに非点収差が変化するように2種類の非点補正量の関係を保ちながら非点補正量を変化させ、像が鮮明になる条件を探す方法が提案されている。これによって、2自由度の非点補正量の条件を1自由度に限定して調整することができ、調整時間が短縮される。

また、特開平10-106469号公報（従来技術3）では、まず合焦状態からわずかずれた状態に自動焦点調整を行ってから、2次元画像のFFTを用いて

非点収差の方向を求め、この方向のみに非点収差が変化するように 2 種類の非点補正量の関係を保ちながら非点補正量を変化させ、像が鮮明になる条件を探す方法が提案されている。

また、特開平 9 - 8 2 2 5 7 号公報（従来技術 4）では、2 次元粒子画像のフーリエ変換を用い、焦点を変化させながらフーリエ変換の大きさの変化が反転する点をまず求めることによって合焦位置を求め、次に、合焦位置の前後の焦点位置で各 1 枚の 2 次粒子像を測定し、これらのフーリエ変換の大小の分布から非点収差の方向を求め、この方向に非点収差が変化するように非点収差補正を行うことが提案されている。

【0 0 0 6】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来技術 1 では、2 種類の非点補正量と焦点補正量の計 3 種類の制御量を変化させながら、粒子画像の鮮鋭度が最も高くなる点を試行錯誤で求めてゆく方法であるため、補正完了までに要する時間がかかり過ぎることになり、その結果試料に長時間荷電粒子線が当たり、試料にチャージアップ、汚れ等のダメージが生じることになる。また、鮮鋭度を目安に自動、あるいは、目視で調整を行うと、試料のパターンによっては真に非点収差がなくなった状態にならないことが起こりやすくなる。

また、従来技術 2 でも、焦点をふって非点収差の方向を調べてから、非点調整量を変化させながら 1 次元スキャンを焦点を振って繰り返して、2 方向の合焦位置が一致する条件を探すということを繰り返す必要があり、この間時間がかかるという課題があった。また、電子線のスキャンが一次元であるために試料に放射状の痕がついてしまうという課題があった。また、試料に一樣にテキスチャーがついていないとスキャン 1 次元スキャンの場所によって十分な信号が得られないために安定した非点収差補正が行なえないといった課題もあった。

【0 0 0 7】

また、従来技術 3 でも、やはり、焦点を振ってから非点補正量を振るという 2 ステップの調整を行うため、調整時間がかかるうえに、試料のダメージが大きくなる課題があった。また、FFT から非点収差の方向を求めるためには、非点収

差が発生していないときの画像のスペクトルが均一であるという前提が必要となり、使用できる試料が限定されてしまうという課題があった。

以上説明したように従来技術 1、2、3 のいずれにも、粒子画像から安定に非点収差の方向と大きさを求める方法と、非点収差の方向と大きさから非点調整手段への補正量を計算することについて示唆されていないため、試行錯誤で非点補正量を変化させては結果をみることを繰り返さざるを得ず、調整に時間がかかると同時に試料のコンタミネーションやチャージアップによるダメージが生じることになっていた。また、一次元ビームスキャンの場合は、試料上のパターンが粗な場所をスキャンした場合に精度が悪化するという課題もあった。

また、従来技術 4 では、焦点をふった 2 次元画像のフーリエ変換から非点収差の方向と“強度”を求めているが、非点収差の方向と“強度”から非点調整手段の補正量を求める具体的な方法について示唆されておらず、また“強度”の物理的意味付けが不明確であり、非点調整手段の補正量が十分な精度で求められないという課題を有していた。

【0008】

本発明の目的は、上記課題を解決すべく、多様な試料に対応して、少数の 2 次元画像から、2 個以上の非点収差補正量と焦点補正量を一括して求め、試料のダメージを最小限に押さえながら、短時間で非点収差と焦点の自動補正を行うことができるようにした荷電粒子線装置および自動非点収差調整方法を提供することにある。

また、本発明の他の目的は、多様な試料に対応して、少数の 2 次元画像から、2 個以上の非点収差補正量を同時に求め、試料のダメージを最小限に押さえながら、短時間で非点収差の自動補正を行うことができるようにした荷電粒子線装置および自動非点収差調整方法を提供することにある。

【0009】

また、本発明のさらに他の目的は、荷電粒子線光学系の非点収差と焦点の自動補正を行うことで被対象基板から得られる粒子画像の質の向上を図って長時間安定で、かつ高信頼性を有する検査、計測、または加工等を行うことのできる荷電粒子線装置を提供することにある。

また、本発明のさらに他の目的は、荷電粒子線光学系において試料のダメージを最小限に押さえながら、短時間で非点収差と焦点の自動補正を行うことに適した荷電粒子線の非点収差・焦点調整用試料を提供することにある。

また、本発明のさらに他の目的は、一枚の2次元の粒子画像から短時間で非点収差と焦点の自動補正を行うことができるようにした自動非点収差調整方法およびそのための試料を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、試料を設置するステージと、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する粒子画像を検出して2次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、該粒子画像検出手段から得られる2次元の粒子画像に基いて前記収束荷電粒子ビームの非点隔差（大きさ δ と方向 α またはベクトル（ dx , dy ））および焦点オフセット z を算出する画像処理手段と、該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、前記画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を前記焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置である。

【0011】

また、本発明は、試料を設置するステージと、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手

段と、前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像に基いて前記収束荷電粒子ビームの非点隔差（大きさ δ と方向 α またはベクトル (dx, dy) ）を算出する画像処理手段と、該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置である。

【0012】

また、本発明は、試料を設置するステージと、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像に基いて前記収束荷電粒子ビームの非点隔差（大きさ δ と方向 α またはベクトル (dx, dy) ）および焦点オフセット z を算出する画像処理手段と、該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、前記画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を前記焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置である。

【0013】

また、本発明は、試料を設置するステージと、荷電粒子源から発せられた荷電

粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度 $\{d_0(f), d_{45}(f), d_{90}(f), d_{135}(f)\}$ を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度における合焦位置 $\{p_0, p_{45}, p_{90}, p_{135}\}$ を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての合焦位置の関係から前記収束荷電粒子ビームの非点隔差（大きさ δ と方向 α またはベクトル (dx, dy) ）を算出する画像処理手段と、該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置である。

【0014】

また、本発明は、試料を設置するステージと、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを収束する荷電粒子光学系と、該荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームを走査して前記試料上に照射する走査手段と、前記荷電粒子光学系によって収束された収束荷電粒子ビームの焦点位置を制御する焦点制御手段と、前記荷電粒子光学系によって収束する収束荷電粒子ビームの非点収差を調整する非点収差調整手段と、前記走査手段によって収束荷電粒子ビームが走査照射された試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る粒子画像検出手段と、該粒子画像検出手段から得られる複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度 $\{d_0(f), d_{45}(f), d_{90}(f), d_{135}(f)\}$ を求め、これら求められた少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度における合焦位置 $\{p_0, p_{45}, p_{90}, p_{135}\}$ を求め、これら求められた少なくとも 3 方

向についての合焦位置の関係から前記収束荷電粒子ビームの非点隔差（大きさ δ と方向 α またはベクトル (d_x, d_y) ）および焦点オフセット z を算出する画像処理手段と、該画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を前記非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、前記画像処理手段で算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を前記焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する制御系とを備えたことを特徴とする荷電粒子線装置である。

【0015】

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、前記試料上には、少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されていることを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、前記試料上には、一方向のエッジ成分を有するパターンを形成した少なくとも 3 つの領域を有して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されていることを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の画像処理手段において、少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を、少なくとも 3 方向の方向性微分演算によって求めるように構成したことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の画像処理手段において、少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を、少なくとも 3 方向の粒子画像の振幅を算出することによって求めるように構成したことを特徴とする。

【0016】

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の画像処理手段において、少なくとも 3 方向についての方向鮮鋭度を、粒子画像のフーリエスペクトルから少なくとも 3 方向のパターン成分に対するテクスチャの強度によって求めるように構成したことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の粒子画像検出手段を、前記焦点制御手段を制御することによって試料上から複数の焦点位置を有する粒子画像を検出するように構成したことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の粒子画像検出手段を、試料上の異なる

複数の領域から複数の焦点位置を有する粒子画像を検出するように構成したことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の試料が、傾けた試料、若しくは階段状の段差を持った試料であることを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の試料に対して高速に焦点位置を変化させながら収束荷電粒子ビームを走査して照射することを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の画像処理手段における非点隔差としては、非点隔差の大きさ δ と方向 α または非点隔差のベクトル z であることを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、更に、前記制御系によって少なくとも非点収差が調整制御された収束荷電粒子ビームを前記走査手段によって被対象基板上に走査して照射して該被対象基板上から発生する粒子画像を前記粒子画像検出手段により検出するように構成し、この検出される粒子画像に基いて前記被対象基板上に存在する欠陥を検査する欠陥検査画像処理手段を備えたことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、更に、前記制御系によって少なくとも非点収差が調整制御された収束荷電粒子ビームを前記走査手段によって被対象基板上に走査して照射して該被対象基板上から発生する粒子画像を前記粒子画像検出手段により検出するように構成し、この検出される粒子画像に基いて前記被対象基板上に存在するパターンの寸法を計測する計測画像処理手段を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、更に、被対象基板上の高さを光学的に検出する高さ検出手段を備え、該高さ検出手段によって光学的に検出された被対象基板上の高さに基いて前記焦点制御手段を制御するように構成したことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置の焦点制御手段として、対物レンズと試料との間の相対距離を変化させる機械的な昇降機構、あるいは、荷電粒子光学系

の対物レンズ等に印加する電流あるいは電圧を変化させて荷電粒子ビームの収束位置を変化させる手段の、何れか少なくとも一方を具備して構成したことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、定期的に焦点と非点収差の自動校正を行ない、その結果焦点と非点収差が最適状態に保たれた荷電粒子ビームを被対象基板に走査照射して検出される粒子画像を処理して欠陥の検査やパターンの寸法等の計測を行う自動検査手段若しくは自動計測手段を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、焦点と非点収差の自動校正を試料台上に設けられたターゲット上に形成された校正用パターンを用いて行なうことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、焦点と非点収差の自動校正を試料上の指定されたパターンを用いて行なうことを特徴とする。

また、本発明は、前記荷電粒子線装置において、焦点を連続して変化させて粒子画像を取得する過程の画像または非点調整後の画像を表示する表示手段を備えたことを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

また、本発明は、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する粒子画像を粒子画像検出手段で検出して 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、該第 1 の過程で得られた 2 次元の粒子画像に基いて収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを画像処理手段によって算出する第 2 の過程と、該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、更に前記算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法であ

る。

また、本発明は、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、該第 1 の過程で得られた複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像に基いて収束荷電粒子ビームの非点隔差を画像処理手段によって算出する第 2 の過程と、該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法である。

【 0 0 2 1 】

また、本発明は、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像を得る第 1 の過程と、該第 1 の過程で得られた複数の焦点位置を有する 2 次元の粒子画像に基いて収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを画像処理手段によって算出する第 2 の過程と、該第 2 の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、更に前記算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する第 3 の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法である。

【 0 0 2 2 】

また、本発明は、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも 3 方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する

2次元の粒子画像を得る第1の過程と、該第1の過程で得られた複数の焦点位置を有する2次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも3方向についての方向鮮鋭度を求め、これら求められた少なくとも3方向についての方向鮮鋭度における合焦位置を求め、これら求められた少なくとも3方向についての合焦位置の関係から収束荷電粒子ビームの非点隔差を算出する第2の過程と、該第2の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御する第3の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法である。

【0023】

また、本発明は、荷電粒子源から発せられた荷電粒子ビームを荷電粒子光学系で収束し、この収束された収束荷電粒子ビームを走査手段で走査して少なくとも3方向のエッジ成分を含むパターンが形成されている試料上に照射し、該試料から発生する複数の焦点位置を有する粒子画像を検出して複数の焦点位置を有する2次元の粒子画像を得る第1の過程と、該第1の過程で得られた複数の焦点位置を有する2次元の粒子画像から複数の焦点位置に対する少なくとも3方向についての方向鮮鋭度を求め、これら求められた少なくとも3方向についての方向鮮鋭度における合焦位置を求め、これら求められた少なくとも3方向についての合焦位置の関係から収束荷電粒子ビームの非点隔差および焦点オフセットを算出する第2の過程と、該第2の過程で算出された収束荷電粒子ビームの非点隔差に基づく非点収差補正量を非点収差調整手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの非点収差を調整制御し、更に前記算出された収束荷電粒子ビームの焦点オフセットに基づく焦点補正量を焦点制御手段にフィードバックして収束荷電粒子ビームの焦点を調整制御する第3の過程とを有することを特徴とする自動非点収差調整方法である。

【0024】

また、本発明は、一方向のパターンを持つ少なくとも3つの領域を荷電粒子光学系の視野内にもつように構成したことを特徴とする荷電粒子線の非点収差調整用試料である。

また、本発明は、荷電粒子光学系の視野内の位置によって試料面の高さが異な

るように表面を傾け、該表面に少なくとも 3 方向のエッジ成分を有するパターンを形成したことを特徴とする荷電粒子線の非点収差調整用試料である。

また、本発明は、荷電粒子光学系の視野内の領域によって試料面の高さが異なるように表面に段差をもち、該表面に少なくとも 3 方向のエッジ成分を有するパターンを形成したことを特徴とする荷電粒子線の非点収差調整用試料である。

【0025】

以上説明したように、本発明では、焦点を変化させながら取得した少数の 2 次元の粒子画像を用いて画像処理することによって直交方向のパターンに対する合焦位置の間隔である非点隔差（例えば大きさ δ と方向 α またはベクトル）と焦点オフセット z を算出することにある。非点収差が発生している状態では焦点を合焦状態から変化させた時に画像は均等にぼけず、ビームの楕円形状が最も細くなる点では楕円の長軸方向と平行な模様は鮮明になる。一方楕円の長軸方向に直交する模様はぼけが大きくなる。粒子画像上からこれを計測するために、本発明では方向性鮮鋭度 $\{d_0(f), d_{45}(f), d_{90}(f), d_{135}(f)\}$ を定義し、フォーカスを振りながら方向性鮮鋭度の変化を解析し、これから非点隔差（例えば大きさ δ と方向 α またはベクトル）、および焦点オフセット z を求める。更にこれを少なくとも 2 種類の非点収差補正量と焦点補正量に一括して配分することによって非点収差・焦点調整を実現する。

この構成によれば、焦点を変化させて取得した少数の 2 次元の粒子画像から非点収差補正量と焦点補正量が一括して計算されるため、高速で試料に対するダメージの少ない非点収差・焦点調整が実現される。また、焦点距離を変化させながら同じ試料の画像の方向性鮮鋭度を比較することによって非点隔差が求められるので、試料上のパターン（模様）に依存せずに高精度の非点・焦点調整が実現される。試料上のパターン（模様）についての唯一の条件は、各方向のエッジ成分を同程度に含むものであることである。

【0026】

【発明の実施の形態】

本発明に係る荷電粒子線装置および自動非点収差補正方法並びに荷電粒子線の非点収差調整用の試料の実施の形態について図面を用いて説明する。

本発明に係る荷電粒子線装置の一実施の形態である検査／計測装置は、図 1 に示すように、荷電粒子光学系 10 と荷電粒子光学系 10 を構成する各種要素を制御する制御系と荷電粒子光学系 10 内の粒子検出器 16 で検出される 2 次粒子または反射粒子に基づく画像について画像処理する画像処理系とから構成される。

荷電粒子光学系 10 は、電子ビームやイオンビーム等の荷電粒子ビームを出射する荷電粒子線源 14 と、該荷電粒子線源 14 から出射される荷電粒子ビームの非点収差を電界を与えることによって補正する非点収差補正器 60 と、上記荷電粒子線源 14 から出射される荷電粒子ビームを偏向させて走査するビーム偏向器 15 と、該ビーム偏向器 15 によって偏向される荷電粒子ビームを磁界によって集束させる対物レンズ 18 と、試料 20 を搭載し、校正用ターゲット 62 を試料 20 の周辺に固定した試料台 21 を載置して移動する X Y ステージ 46 と、接地に近い電位が付与されるグリッド電極 19 と、試料台 21 上に設けられて試料 20 および校正用ターゲット 62 に対して荷電粒子ビームが電子ビームの場合負の電位、荷電粒子ビームがイオンビームの場合正の電位を付与するリターディング電極（図示せず）と、試料 20 等の高さを例えば光学的に測定する高さ検出センサ 13 と、試料 20 に荷電粒子ビームを照射することによって試料 20 の表面から放出される 2 次粒子または反射粒子を例えば反射板で反射させて検出する粒子検出器 16 とを備えて構成する。なお、非点収差補正器 60 は、磁界に基づく非点収差補正コイル、または電界に基づく非点収差補正電極によって構成することができる。また、対物レンズ 18 は磁界に基づく対物コイル、または電界に基づく静電対物レンズによって構成することができる。更に対物レンズ 18 には、焦点補正用のコイル 18 a を設けてもよい。このように非点収差調整手段は、非点収差補正器 60 および非点収差補正回路部 61 等で構成される。

【0027】

ステージ制御部 50 は、全体制御装置 26 からの制御指令に基づいて X Y ステージ 46 の位置（変位）を検出しながら X Y ステージ 46 の移動（走行）を駆動制御するものである。なお、X Y ステージ 46 には、X Y ステージ 46 の位置（変位）をモニタする位置モニタ用測長器が備えられ、モニタされた X Y ステージ 46 の位置（変位）がステージ制御部 50 を介して全体制御装置 26 に提供できる

ように構成されている。

焦点位置制御部 2 2 は、全体制御装置 2 6 からの指令を基に、高さ検出センサ 1 3 によって測定された試料面の高さ情報に基いて対物レンズ 1 8 を駆動制御して荷電粒子ビームの焦点を試料 2 0 上に合わせる。なお、XY ステージ 4 6 に Z ステージを付加することによって、焦点を合わせを対物レンズ 1 8 の代わりに Z ステージを駆動制御してもよい。このように焦点制御手段は、対物レンズ 1 8 または Z ステージおよび焦点位置制御部 2 2 等で構成される。

偏向制御部 4 7 は、全体制御装置 2 6 からの制御指令に基いてビーム偏向器 1 5 に対して偏向信号を与えるが、このとき、試料 2 0 の表面の高さ変動にともなう像倍率変動、対物レンズ 1 8 の制御にともなう像回転を補償するように偏向信号に補正を加える。

【0028】

グリッド電位調整部 4 8 は、全体制御装置 2 6 からの電位調整指令に基いて試料 2 0 の上方に近接して設けられたグリッド電極 1 9 に与える接地に近い電位を調整するものである。試料台電位調整部 4 9 は、全体制御装置 2 6 からの電位調整指令に基いて試料台 2 1 上に設けられたリターディング電極への電位を調整するものである。これらグリッド電極 1 9 およびリターディング電極によって試料 2 0 に負または正の電位を付与することにより、対物レンズ 1 8 と試料 2 0 との間で電子ビームまたはイオンビームを減速させることで低加速電圧領域での高分解能化を図ることができる。

線源電位調整部 5 1 は、全体制御装置 2 6 からの指令に基いて荷電粒子線源 1 4 に与える電位を調整することによって荷電粒子線源 1 4 から出射される荷電粒子ビームの加速電圧やビーム電流を調整するものである。

そして、これら線源電位調整部 5 1、グリッド電位調整部 4 8、および試料台電位調整部 4 9 は、所望の画質の粒子像を粒子検出器 1 6 によって検出できるように全体制御装置 2 6 によって制御される。

【0029】

本発明に係る非点収差調整部 6 4 は、非点収差・焦点補正時に、焦点位置制御部 2 2 に焦点位置（フォーカス f ）を変えるべく制御指令を出して焦点位置制御

部 22 により対物レンズ 18 を駆動制御し、荷電粒子ビームを、試料 20 上または校正用ターゲット 62 上の例えば図 4 (a) (b) の各々に示すような各方向のエッジ成分を同程度に含むパターンが形成された領域に照射しながらフォーカスを変える。すると、粒子検出器 16 からは、フォーカス f を変えた複数枚の粒子画像信号が検出され、夫々の粒子画像信号が A/D 変換器 24 で粒子デジタル画像信号 (デジタル画像データ) に変換されて画像メモリ 52 に非点収差調整部 64 から出力されるフォーカス指令値 f に対応させて記憶される。そして、非点収差・焦点補正量算出用画像処理回路 53 は、画像メモリ 52 に記憶されたフォーカス f を変えた複数枚の粒子デジタル画像信号を読み出して、各一枚の粒子デジタル画像信号について方向性鮮鋭度 $d_0(f)$, $d_{45}(f)$, $d_{90}(f)$, $d_{135}(f)$ を求め、これら方向性鮮鋭度 $d_0(f)$, $d_{45}(f)$, $d_{90}(f)$, $d_{135}(f)$ がピークとなるフォーカス値 f_0 , f_{45} , f_{90} , f_{135} を求め、これらフォーカス値 f_0 , f_{45} , f_{90} , f_{135} から非点隔差 (非点隔差ベクトル (dx , dy))、または非点隔差の方向 α と大きさ δ 、および焦点オフセット値 z を求め、これら求められた非点隔差および焦点オフセット値 z を全体制御装置 26 に提供して記憶装置 57 に記憶する。全体制御装置 26 は、予め求めておいた非点収差補正器 60 の特性である非点隔差と非点収差補正量との関係から上記求められて記憶装置 57 に記憶された非点隔差に応じた非点収差補正量 (Δstx , Δsty) を算出し、予め求めておいた対物レンズ 18 の特性の関係から上記求められて記憶装置 57 に記憶された焦点オフセット値 z に応じた焦点補正量を算出し、この算出された非点収差・焦点補正量を非点収差調整部 64 に提供する。

【0030】

従って、非点収差調整部 64 は、全体制御装置 26 から提供された非点補正量 (Δstx , Δsty) を非点収差補正回路部 61 に与えることにより非点収差補正器 (磁界に基づく非点収差補正コイル、または電界に基づく非点収差補正電極によって構成される。) 60 によって荷電粒子ビームの非点収差が補正され、焦点補正量を焦点位置制御部 22 に与えることにより対物レンズ 18 へのコイル電流または焦点補正用のコイル 18a へのコイル電流が制御されて焦点が補正さ

れる。

別の方法として、ステージ 4 6 として Z ステージを具備する場合には、非点収差調整部 6 4 は、全体制御装置 2 6 を介してまたは直接ステージ制御部 5 0 に焦点を振る（フォーカスを変える）制御指令を出し、ステージ制御部 5 0 によりステージ 4 6 の Z 軸を駆動して焦点を振ることによって、粒子検出器 1 6 から焦点を振った粒子画像を得、非点収差・焦点補正量算出用画像処理回路 5 3 において非点収差・焦点補正量を求め、算出された焦点補正量についてステージ 4 6 の Z 軸にフィードバックして補正を行うことも可能である。もちろん、焦点を振って画像を取得するのと最終的な焦点補正を行う先が別々、すなわち、どちらか一方が焦点位置制御部 2 2、もう一方がステージ 4 6 の Z 軸でもよいし、両方を組み合わせて同時に制御しても、焦点位置と試料 2 0 または校正用ターゲット 6 2 の相対位置を所望の距離に制御できればよい。なお、対物レンズ 1 8 を制御する方が、Z ステージを制御するよりも応答性に優れている。

【0 0 3 1】

以上説明したように、非点収差および焦点補正をする際、全体制御装置 2 6 からの指令による非点収差調整部 6 4 からの制御に基いて非点収差および焦点補正が行われる。その結果、全体制御装置 2 6 は、画像メモリ 5 2 に取り込まれた非点収差および焦点が補正された粒子画像を直接または画像処理回路 5 3 を介して提供を受けることによって表示手段 5 8 に表示して非点収差等の補正の良否を目視確認することができる。

さらに、例えば、検査・測定時には、ステージ 4 6 を制御して試料 2 0 上の所定の位置を荷電粒子光学系の視野に持ってきて、粒子検出器 1 6 で粒子画像信号を得、この粒子画像信号を A/D 変換器 2 4 で粒子デジタル画像信号に変換して画像メモリ 5 5 に記憶させる。そして、検査・計測用画像処理回路 5 6 は、画像メモリ 5 5 に記憶された検出粒子デジタル画像信号に基いて試料 2 0 上に形成された微細なパターンの寸法計測や試料 2 0 上に発生した微細なパターンの欠陥や微細な異物等の欠陥について検査が行われ、その結果が全体制御装置 2 6 に提供される。この時、少なくとも定期的に本発明に係る非点収差・焦点補正を行うことによって常に収差の補正された粒子画像による検査または測定（計測）を実現

することができる。

【0032】

なお、粒子画像に基づく欠陥等の検査の場合には、検査・計測用画像処理回路 56 において、検出される検出粒子デジタル画像信号を繰り返しパターン分遅延させて比較対象となる参照粒子デジタル画像信号を作成し、そして検出粒子デジタル画像信号と参照粒子デジタル画像信号とを位置合わせして比較することによって不一致もしくは差画像として欠陥候補を抽出し、この欠陥候補における特徴量を抽出し、この特徴量から虚報を除去する判定をする処理が行われて真の欠陥が検査されることになる。

また、光学的な高さ検出センサ 13 は、試料 20 へのチャージアップ、汚れ、ダメージなどの影響が少ないので、各検査または計測位置での試料 20 の表面の高さ変動を検出し、焦点位置制御部 22 にフィードバックされて常に合焦点状態が保たれる。このように光学的な高さ検出センサ 13 を用いる場合は、予め、あるいは検査または計測中定期的に、試料 20 上の別の位置、あるいは、試料台 21 上に設けられた校正用ターゲット 62 で非点収差・焦点自動調整を行うことによって、非点収差・焦点自動調整のための収束荷電粒子ビームの照射を実際の試料に対してなくしたり、または大幅に少なくすることができ、試料 20 へのチャージアップ、汚れ、ダメージなどの影響をなくすることができる。

【0033】

次に、本発明に係る収束荷電粒子光学系における非点収差と焦点の自動調整について説明する。本発明では、少数の 2 次元の粒子画像から非点隔差と焦点オフセットをもとめ、これを非点収差の補正值と焦点の補正值に同時に変換して一度に補正を行なうものである。

図 2 には、非点収差補正器 60 の一実施例である磁界に基づく 2 組の非点収差補正コイルで構成した場合を示す。即ち、2 組の非点収差補正コイルで構成した場合には、1 組のコイルに電流を流すと、ある方向にビームを伸ばし、それと直交する方向にビームを縮めるように働く。これを 2 組、45° 方向にずらしたものを（図 2 の $s t x$, $s t y$ ）を組み合わせて制御すると、任意の方向に必要な量だけ非点収差を調整することが可能となる。当然、非点収差補正器 60 を電界

に基づく電極によって構成することもできる。

【0034】

次に、非点収差の様子について図3を用いて説明する。左側の列は非点収差の補正された状態での収束荷電粒子ビームの形状で、上から順に焦点位置が高い（ $Z > 0$ ）場合、合焦位置の場合（ $Z = 0$ ）、焦点位置が低い（ $Z < 0$ ）場合である。このように、合焦位置では小さい点に絞れており、その上下では対称に円の径が大きくなる。これに対して $s t x$ に電流を流して非点収差を発生させると図3の真ん中の列のように $Z > 0$ では横方向にビームが伸び、 $Z < 0$ では縦方向にビームが伸び、合焦位置では真円となるが径は十分に小さくならない。 $s t y$ に電流を流すと合焦位置から外れた場合にビームが楕円となる方向が 45° 回転するが、やはり $Z > 0$ と $Z < 0$ で楕円の長軸は直交する。この $s t x$ と $s t y$ を組み合わせると任意の方向へ任意の方向の非点収差を発生させ、これによって調整前の荷電粒子光学系の持っている非点収差を打ち消して非点収差を補正することができる。

即ち、図3に示すように非点収差が生じている状態では、合焦点からずれると、荷電粒子ビームは楕円状にぼける。焦点を挟んで $\pm Z$ の位置でビームの楕円形状は最も細くなり、その楕円の方法が直交する。非点収差の大きさはこの2点間の焦点の距離 $2Z$ で表わされ、非点収差の方法は楕円の方法で表わされる。2点間の焦点の距離 $2Z$ は非点隔差と呼ばれ、図6中では δ で表わされる。また、非点隔差の方法は、図6中では主点主軸方向 α で表わされる。また、非点隔差のベクトルとしては $(d x, d y)$ で表わすことができる。

【0035】

次に、非点収差および焦点の補正について図4～図7を用いて説明する。図4（a）、（b）には、試料20上または校正用ターゲット62上に形成された非点収差・焦点補正用のパターンの実施例を示す。非点収差・焦点補正用のパターンとしては、非点収差が生じる3方向以上のエッジ成分を同程度に含むパターンであればよい。図4（a）は、4方向を向いた直線状のパターンを別々の領域に形成したものである。図4（b）は、4方向のエッジ成分を有する曲線形状パターンを2次元に等ピッチで配列して形成したものである。特に、試料上の場合、

3方向以上のエッジ成分を同程度に含むパターンが形成されていれば、それを用いることができる。但し、この場合、このパターンが形成されている位置情報を予め、入力手段59を用いて全体制御装置26に入力して記憶装置57等に登録しておくか、あるいは操作者が非点収差・焦点補正の都度試料上の位置を指定する必要がある。また、当然、校正用ターゲット62が試料台21上に設置された位置情報については、入力手段59を用いて全体制御装置26に入力して記憶装置57等に登録してあるものとする。

そこで、まず、全体制御装置26からステージ制御部50への非点収差・焦点補正用のパターンの位置情報に基づいてステージ46を駆動制御して非点収差・焦点補正用のパターンを荷電粒子光学系の光軸近傍に位置付ける。次に、全体制御装置26からの偏向制御部47への指令に基づいて、荷電粒子ビームを上記非点収差・焦点補正用のパターン上を走査照射しつつ、非点収差調整部64から焦点位置制御部22への指令で図5に示すように(1)フォーカス f を変化させながら粒子検出器16で複数枚の画像を取得して画像メモリ52に記憶し、画像処理回路53において、各画像について方向性鮮鋭度(0° , 45° , 90° , 135°)を、図6(a)に示す如く $d_0(f)$, $d_{45}(f)$, $d_{90}(f)$, $d_{135}(f)$ として計算する(ステップS51)。なお、フォーカス値 f については、非点収差調整部64から焦点位置制御部22への指令値として取得することができる。

【0036】

次に、画像処理回路53において、(2)4種の方向性鮮鋭度は各方向毎に f の関数となり、図6(a)に示す如く各関数による曲線毎にその中心位置 p_0 , p_{45} , p_{90} , p_{135} を求める(ステップS52)。

次に、画像処理回路53において、(3)図6(b)に示す正弦波の関係から p_0 , p_{45} , p_{90} , p_{135} から非点収差に起因する方向によるフォーカス位置のずれ(非点隔差)の方向 α と大きさ δ 、及び、焦点オフセット z を求めて全体制御装置26に提供して記憶装置57に記憶させる(ステップS53)。なお、このステップS53において非点隔差の方向 α と大きさ δ とを求める必要はなく、非点隔差のベクトル(d_x , d_y)でもよい。非点隔差の大きさ δ は、次

に示す(数1)式によって表わすことができる。また、非点隔差の方向(非点主軸方向) α は、次に示す(数2)式によって表わすことができる。また、焦点オフセット値 z は、次に示す(数3)式によって表わすことができる。

【0037】

$$\delta^2 = (p_{00} - p_{90})^2 + (p_{45} - p_{135})^2 = (dx)^2 + (dy)^2 \quad (\text{数1})$$

$$\alpha = (1/2) \tan^{-1} ((p_{45} - p_{135}) / (p_{00} - p_{90})) \\ = (1/2) \tan^{-1} ((dy) / (dx)) \quad (\text{数2})$$

$$z = (p_{00} + p_{45} + p_{90} + p_{135}) / 4 \quad (\text{数3})$$

なお、記憶装置54には、以上説明した方向性鮮鋭度 $d_{00}(f)$ 、 $d_{45}(f)$ 、 $d_{90}(f)$ 、 $d_{135}(f)$ を求めるプログラムや方向性鮮鋭度からその中心位置 p_{00} 、 p_{45} 、 p_{90} 、 p_{135} を求めるプログラムや非点隔差および焦点オフセット値を求めるプログラム等が記憶されていて、非点収差・焦点補正量算出用画像処理回路53においてそれらプログラムに基いて実行できるように構成されている。当然、記憶装置54としてROM等で構成することができる。

(4) 予め、全体制御装置26において、非点収差補正器60の特性である非点収差制御値(s_{tx} 、 s_{ty})の変化と、非点隔差の方向 α と大きさ δ または非点隔差のベクトル(dx 、 dy)の変化量(感度)との関係を求めておけば、これを利用して非点隔差(α 、 δ または(dx 、 dy))を必要な非点収差補正值(1, 2) (Δs_{tx} 、 Δs_{ty})へ変換配分することが可能となり(ステップS54)、非点収差補正值(1, 2) (Δs_{tx} 、 Δs_{ty})およびフォーカス値 z を設定して非点収差調整部64に提供することができる(ステップS55)。なお、非点収差補正值(1, 2) (Δs_{tx} 、 Δs_{ty})およびフォーカス値 z の算出は、全体制御装置26で行うのではなく、非点収差補正器60や対物レンズ18の特性を全体制御装置26から提供を受けることによって画像処理回路53において実行してもよい。

【0038】

(5) 非点収差調整部64は、全体制御装置26から提供を受けた焦点オフセット値 z を焦点位置制御部22に送って焦点位置制御部22により対物レンズ1

8 または焦点補正用のコイル 18a における対物コイル電流または焦点補正コイル電流を補正し、全体制御装置 26 から提供を受けた非点収差補正值 ($\Delta s t x$, $\Delta s t y$) を非点収差補正回路 61 に送って非点収差補正回路 61 により非点収差補正コイル電流または非点収差補正静電圧を補正する。このように非点収差補正と焦点合わせとを一括して実行することができる。

(6) 非点収差が小さい場合には上記動作一回でオートスティグマ動作は完了するが、非点収差が大きい場合には、非点収差以外の収差他の要因 (高次の非点収差や像歪等がある。) によって一回では補正しきれない。この場合 (1) に戻り再度オートスティグマをかけ、 z 、($\Delta s t x$, $\Delta s t y$) が小さくなるまでループを繰り返す。

【0039】

以上の方法によって、高速で試料 20 や校正用ターゲット 62 に対するダメージの少ない非点収差・焦点の一括調整が実現される。また、焦点距離を変化させながら同じ試料 20 または校正用ターゲット 62 の画像の方向性鮮鋭度を比較することによって非点隔差が求められるので、試料 20 や校正用ターゲット 62 の模様 (非点収差・焦点補正用のパターン) に依存せずに高精度の非点収差・焦点の一括調整が実現される。試料 20 や校正用ターゲット 62 の模様についての唯一の条件は、各方向のエッジ成分を同程度に含むパターンであることである。

なお、上記実施例では $\theta = 0^\circ$, 45° , 90° , 135° の 4 種類の方向性鮮鋭度を用いたが、非点隔差の方向 α と大きさ δ がわかれば θ は 4 方向でなくてもよく、最低 3 方向以上の任意個数の θ に対する方向性鮮鋭度 $d\theta(f)$ を用いればよい。各 θ 毎に曲線 $d\theta(f)$ の中心位置 $p\theta$ を求め、さらに正弦波 (正弦波に近似した波形でもよい。) を $p\theta$ に当てはめて、この正弦波の振幅と位相を求めてやればこれが非点隔差の大きさ δ と方向 α となる。

【0040】

次に、画像処理回路 53 において粒子画像の方向性鮮鋭度を求める具体的な実施例について説明する。

第 1 の実施例としては、図 7 (a) に示すように領域によって方向の異なる縞パターンを持った自動非点収差補正専用の試料 (ターゲット) 62 に対して荷電

粒子ビームを走査照射することによって粒子検出器 16 によって粒子画像を検出して観察する。そして、この各領域の粒子画像の振幅を計測することによって方向性鮮鋭度 $d\theta$ を求めるものである。この振幅は、直接に各領域における振幅 $\{s(x, y) \text{ の最大値} - s(x, y) \text{ の最小値}\}$ を計測してもよいし、各領域における粒子画像の濃淡値（階調値） $s(x, y)$ の分散 $\{V = \sum_{xy} (s(x, y) - s_{\text{mean}})^2 / N\}$ を求めてもよい。あるいは、ラプラシアン等の 2 次元微分の結果 $s(x, y)$ の微分 $t(x, y)$ の絶対値の和 $\{\sum_{xy} |t(x, y)|\}$ や二乗和 $\{\sum_{xy} (t(x, y))^2\}$ を求めてもよい。この時の結果を方向性鮮鋭度 $d\theta$ と定義する。角度方向 θ はどのように定義しても良いが、図ではパターンの法線方向が左右方向になる場合を 0° とし、ここから時計周りに定義している。パターンの方向としては図に示すように 4 方向の場合にとらわれず、 180° の角度範囲を略 n 等分する任意の角度の組み合わせが考えられる。この場合の n は 3 以上の任意の整数である。

【0041】

第 2 の実施例としては、図 7 (b) に示すようなパターンを持った試料 20 やターゲット 62 の場合で、粒子検出器 16 によって検出された粒子画像に対して方向性微分演算を施すことによって方向性鮮鋭度 $d\theta$ を求めるものである。方向性微分は図に例示したようなマスクを画像に対して畳込み演算を行なうことによって実現される。微分結果の画像に対して各点の値の二乗の和を計算して、これを鮮鋭度 $d\theta$ とする。ここで、図示した微分マスクは一例で、方向性微分を取る為のマスクの要件（ある軸を中心として対称の位置にある値は符号が反転していて値が略等しい。）を満たしていれば、これにとらわれる必要はない。ノイズの抑圧と微分の方向選択性の向上のためにさまざまな微分マスクのバリエーションが考えられる。また、画像微分を計算する前のフィルタリング、画像の縮小も画像に適合したものを選択する必要がある。また、画像を回転してから方向性微分を行なうことにより単純な 0° 微分あるいは 90° 微分を用いて任意の方向 θ の方向性微分を行なうことも可能である。

次に、画像処理回路 53 において f の関数である方向性鮮鋭度 $d\theta(f)$ に対してその中心位置 $p\theta$ を求める具体的な実施例について説明する。中心位置 $p\theta$

を求める方法としては、 $d\theta(f)$ が最大となる f の位置の前後の値に 2 次関数、ガウス関数等を当てはめた場合の関数の中心位置として求める方法と、 $d\theta(f)$ がある閾値以上の点に対する重心として求める方法等から適当なものを用いればよい。

【0042】

次に、全体制御装置 26 において画像処理回路 53 から得られる非点隔差から非点収差補正值を求める具体的な実施例について説明する。 0° 、 45° 、 90° 、 135° の p_0 、 p_{45} 、 p_{90} 、 p_{135} の 4 方向を用いる場合には、画像処理回路 53 においてまず非点隔差ベクトル $(dx, dy) = (p_0 - p_{90}, p_{45} - p_{135})$ を計算して全体制御装置 26 に提供する。次に、全体制御装置 26 は、次に示す (数 4) 式に基いて非点収差補正量 $(\Delta stx, \Delta sty)$ の配分を行う。

$$\Delta stx = m_{xx} \cdot dx + m_{xy} \cdot dy$$

$$\Delta sty = m_{yx} \cdot dx + m_{yy} \cdot dy \quad (\text{数 4})$$

但し、 $(m_{xx}, m_{xy}, m_{yx}, m_{yy})$ は、予め非点収差補正器 60 の特性に基いて算出される非点収差補正量配分パラメータであり、例えば記憶装置 57 に記憶されている。従って、非点収差調整部 64 は、全体制御装置 26 から得られる非点収差補正量を $(\beta \Delta stx, \beta \Delta sty)$ だけ変化させるように非点収差補正回路部 61 に送信し、非点収差補正回路部 61 によって非点収差補正器 60 を $(\beta \Delta stx, \beta \Delta sty)$ だけ補正する。 β は補正量減少係数である。

【0043】

また、全体制御装置 26 において、画像処理回路 53 から得られる焦点オフセット z は各方向に対する焦点位置の平均値となるので、焦点補正量としては $(p_0 + p_{45} + p_{90} + p_{135}) / 4$ を設定すればよい。従って、非点収差調整部 64 は、全体制御装置 26 から得られる焦点補正量を例えば焦点位置制御部 22 に送信し、焦点位置制御部 22 によって対物レンズ 18 を焦点補正量で補正する。

なお、別の実施例として、画像処理回路 53 において、非点隔差ベクトル (dx, dy) から非点隔差の大きさ $\delta = |(dx, dy)|$ 、方向 $\alpha = 1/2 \arctan(dy/dx)$

$\tan(dy/dx)$ を一旦求めて全体制御装置 26 に送信し、全体制御装置 26 はこれら送信された非点隔差の大きさ δ および方向 α から非点収差補正量 ($\Delta stx, \Delta sty$) に変換してもよい。

また、 n 方向 (n は 3 以上の任意の整数) の方向性鮮鋭度 $p\theta$ を用いる場合には、画像処理回路 53 は、これらのデータに正弦波を当てはめてその位相、振幅、オフセットから非点隔差の方向 α 、大きさ δ 、焦点オフセット z を求めればよい。

【0044】

さらに、非点収差補正量を変えると焦点位置が干渉を受けて若干ずれることがあるので、この場合は、例えば全体制御装置 26 において、 Δstx と Δsty それぞれについて適当な係数を掛けたものを焦点補正量の変化分に足し込んでやるとよい。

【0045】

次に、本発明に係る非点収差・焦点自動補正をさらに高速に行うための別の実施例について図 8 および図 9 を用いて説明する。即ち、校正用ターゲット 62 として、図 8 (a) に示すように表面が傾いており、この表面上に適当なパターンの形成された校正用ターゲット 62 a、または図 8 (b) に示すように表面が階段状になっており、この表面上に適当なパターンの形成された校正用ターゲット 62 b を用いる。本ターゲット 62 a、62 b は、図 1 および図 10 に示すように試料台 20 上に備えておけばよい。すると、このターゲット (試料) 62 a、62 b の粒子画像を一枚得るだけで、画像中の領域によって焦点 f のことなる画像が得られる。なお、校正用ターゲット 62 a の基準点の高さ、および校正用ターゲット 62 b の基準面の高さと実際の試料 20 の表面の高さの差を予め計測しておくものとする。方法としては、ターゲット 62 と試料 20 の双方で自動高さ補正をかけるか、後述のように光学式高さセンサで計測する方法が例として挙げられる。

【0046】

即ち、図 8 (a)、図 8 (b) に示す校正用ターゲット 62 a、62 b を用いたため、一枚の粒子画像の異なった領域からフォーカス f が変わった画像が得ら

れることにある。そのため、図9に示すフローチャートにおいて、図5に示すフローチャートと相違するのは、領域毎に高さ（フォーカス） f が変えられた3方向以上のエッジ成分を同程度に含む一枚の粒子画像を取得し、各領域ごとに方向性鮮鋭度 $p\theta(f)$ を計算するステップS51'である。後は、図5に示すステップS52～S55と同様に非点収差・焦点補正量を求めて調整をおこなえばよい。これによって一枚の画像だけから高速に非点収差・焦点補正を行うことが可能となる。

また、水平な平面状の校正用ターゲット62または実際の試料20を用いても上記実施例と同様の効果を得ることも可能である。即ち、焦点位置を高速に変化させながら粒子画像を撮像すると、上記実施例と同様に画像中の領域によって焦点の異なる画像を得ることができ、これによって一枚の画像だけから高速に非点収差・焦点補正を行うことが可能となる。

【0047】

次に、被対象基板に対する検査または計測と非点収差・焦点補正との関係について説明する。まず、被対象基板（実際の試料）20を試料台21上に搭載する。そして、全体制御装置26に対しては、上記被対象基板20上において検査または計測すべき少なくとも位置情報が記録媒体やネットワーク等で構成された入力手段59を用いて入力されて記憶されている。従って、被対象基板20に対して検査または計測する場合、全体制御装置26からの指令でステージ46が制御されて被対象基板20上の所定の位置は、荷電粒子光学系の視野に持ってこられ、次に荷電粒子ビームが走査照射されて粒子検出器16で粒子画像が検出されてA/D変換後画像メモリ55に記憶され、検査・計測用画像処理回路56で画像処理が行われて検査または計測が行われる。この時、各検査または計測位置で本発明に係る非点収差・焦点補正を行うことによって常に収差の補正された粒子画像に基づく検査または計測を実現することができる。

また、検査／計測装置が、チャージアップ、汚れ、ダメージなどの被対象基板への影響の少ない例えば光学的な高さ検出センサ13を持っている場合には、各検査または計測位置では光学的な高さ検出センサ13を用いた試料高さの焦点へのフィードバックを行い、焦点・非点収差調整のための収束荷電粒子ビームの走

査照射を行わずに、検査または計測のための収束荷電粒子ビームの走査照射を行うことによって、被対象基板（試料）20へのチャージアップ、汚れ、ダメージなどの影響を最小限に抑えることも可能である。この場合は、予め、あるいは検査または計測中に定期的に試料20上の別の位置、あるいは、試料台21上に設けられた校正用ターゲット62を用いて非点収差・焦点自動調整を行う。

ところで、校正用ターゲット62は、図8に示された傾いたあるいは階段状の試料でも、図1に示された上面が水平な試料でもよい。

【0048】

以上説明した本発明に係る非点収差・焦点自動調整によって、焦点位置と非点収差の経時変化によるずれを補正することになる。しかし、予め本発明に係る非点収差・焦点自動調整によって、光学的な高さ検出センサ13との検出オフセットを合せておく必要がある。実際の試料（被対象基板）20上の各検査または計測位置での高さの違い（変動）は、光学的な高さ検出センサ13によって検出して合焦点補正を行う。これによって、検査または計測時のみ非点収差のない収束荷電粒子ビームを実際の試料20に合焦点状態で走査照射することによって、チャージアップ、汚れ、ダメージなどの影響を最小限に抑えた状態で粒子画像を検出することができ、その結果被対象基板に対して高精度の検査または計測をおこなうことが可能となる。

また、光学的な高さ検出センサ13と焦点位置制御部22との間のオフセットのみならずゲインも校正したい場合には、あらかじめ、高さの分かった校正用ターゲット62を複数用意して、これらの上で、自動焦点補正と光学的な高さ検出センサ13による検出の両方を行うことにより、ゲインさらにはリニアリティも校正することができる。また、ステージ46のZ軸によって校正用ターゲット62あるいは試料20の高さを変えながら、このうえで自動焦点補正と光学的な高さ検出センサ13による検出の両方を行うことにより、ゲインさらにはリニアリティの校正を行うことも可能である。

【0049】

また、図10に示すようにステージ46を横方向に連続移動させながら、ビーム偏向器15を駆動して収束荷電粒子ビームを上記ステージの移動方向と交差す

る方向（特にほぼ直交する方向）に走査し、粒子検出器 1 6 で粒子画像を連続検出し、高速の検査または計測を行う場合には、次に説明するような制御を行う。即ち、光学的な高さ検出センサ 1 3 の高さ検出値を、焦点位置制御部 2 2 と偏向制御部 4 7 とに常にフィードバックし、常に、焦点のずれと偏向の回転を補正しながら粒子画像を連続的に検出することによって、実際の試料 2 0 の全面に亘っての高精度・高感度の検査または計測を実現することができる。なお、焦点の補正のために焦点位置制御部 2 2 を駆動する代わりに、ステージ 4 6 の Z 軸を駆動しても同様の効果が得られることは言うまでもない。この間、図 1 0 に示すように定期的に校正用試料 6 2 に移動して、自動焦点・非点収差補正を行うことによって、長時間にわたって、焦点・非点収差を高精度に補正された粒子画像を用いた高精度・高感度検査を行うことが可能となる。

以上説明した実施の形態では、荷電粒子線装置を検査／計測装置に適用した場合について説明したが、荷電粒子ビームを用いた加工装置等にも適用することができる。

【 0 0 5 0 】

【発明の効果】

本発明によれば、収束荷電粒子ビームの走査照射によって検出される少数の粒子画像を用いて試料にダメージを与えずに高速・高精度に非点収差および焦点の自動調整を行うことができる効果を奏する。

また、本発明によれば、試料にダメージを与えずに高速・高精度に非点収差および焦点の自動調整が行われた収束荷電粒子ビームを被対象基板に走査照射することによって検出される粒子画像に基いてパターンや異物などの欠陥を検査またはパターンの寸法を計測する場合に、長時間にわたって検出される粒子画像の画質を維持し、安定し、しかも高精度の自動検査または計測を行うことができる効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る荷電粒子線装置の一実施の形態である検査／計測装置の構成図である。

【図 2】

非点収差補正コイルの説明図である。

【図 3】

非点収差とビームスポット形状の関係を示す図である。

【図 4】

焦点・非点収差補正用パターンの実施例を示す図である。

【図 5】

図 1 に示す非点収差・焦点補正量算出用画像処理回路で実行する画像処理フローの一実施例を示す図である。

【図 6】

計算される方向性鮮鋭度 $d\theta(f)$ と、非点隔差の大きさ δ と方向 α および焦点オフセット z との関係を説明するための図である。

【図 7】

方向性鮮鋭度を求めるための画像処理の実施例を示す図である。

【図 8】

焦点・非点収差補正を高速に行なうための校正用ターゲット（試料）形状を示す図である。

【図 9】

図 8 に示す校正用ターゲットを用いた場合における図 1 に示す非点収差・焦点補正量算出用画像処理回路で実行する画像処理フローの一実施例を示す図である。

【図 10】

焦点・非点収差のドリフトの定期校正を行なう場合の視野移動シーケンスを示す図である。

【符号の説明】

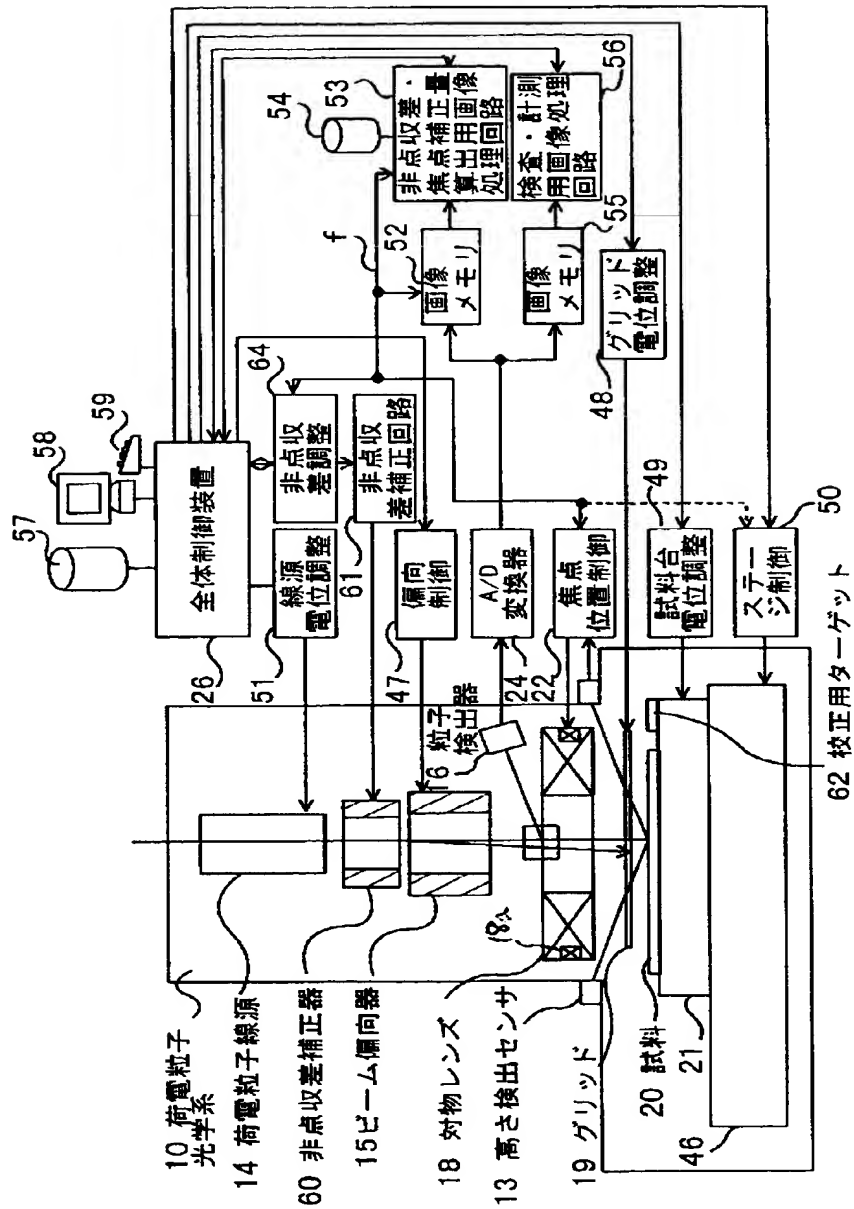
10…荷電粒子光学系、13…光学的高さ検出センサ、14…荷電粒子源（電子源またはイオン源）、15…ビーム偏向器、18…対物レンズ、18a…焦点補正用のコイル、16…粒子検出器、19…グリッド電極、20…試料、実際の試料（被対象基板）、21…試料台、22…焦点位置制御部、24…A/D変換

器、26…全体制御装置、46…XYステージ、47…偏向制御部、48…グリッド電位調整部、49…試料台電位調整部、50…ステージ制御部、51…線源電位調整部、52、55…画像メモリ、53…非点収差・焦点補正量算出用画像処理回路、54…記憶装置、56…検査・計測用画像処理回路、57…記憶装置、58…表示装置（表示手段）、60…非点収差補正器、61…非点収差補正回路部、62…校正用ターゲット、64…非点収差調整部。

【書類名】 図面

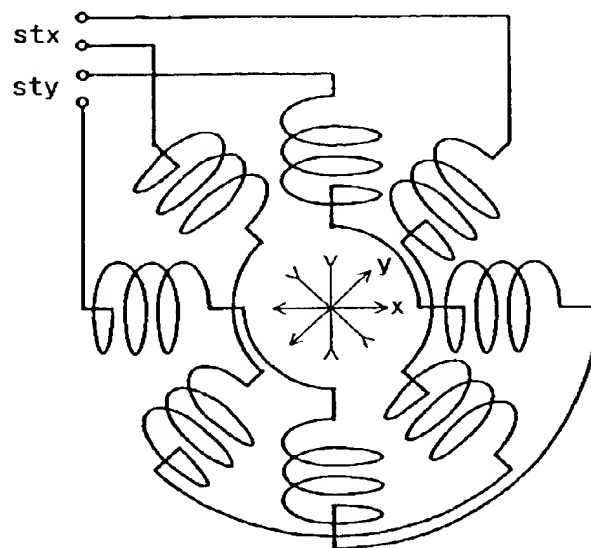
【図 1】

図 1



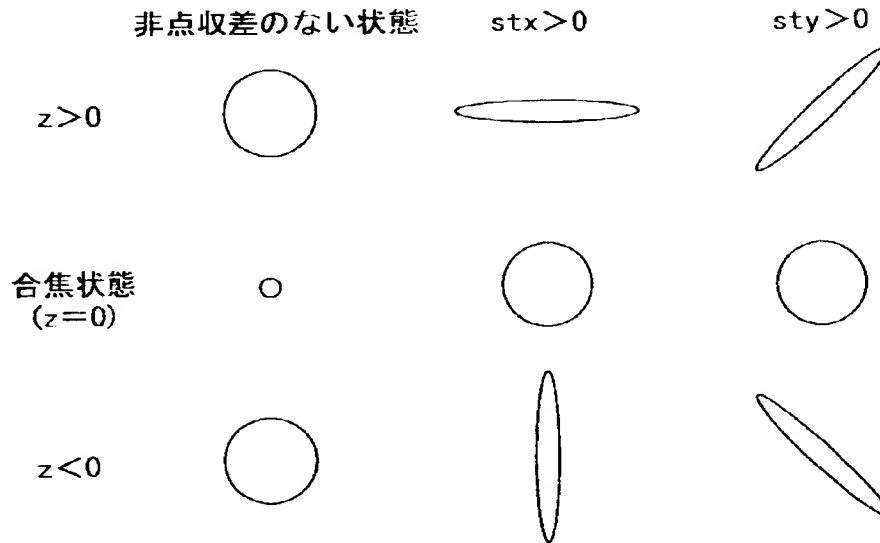
【図 2】

図 2



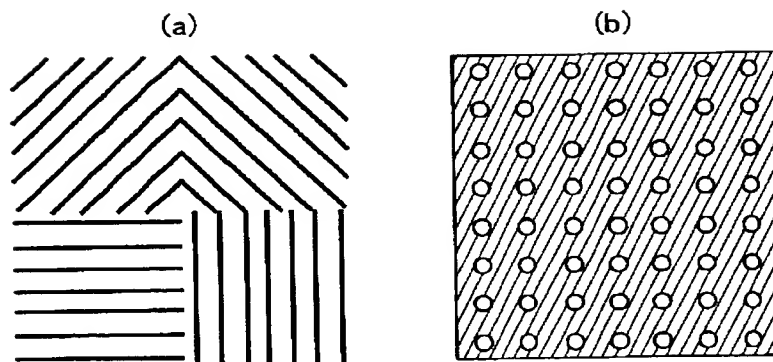
【図 3】

図 3



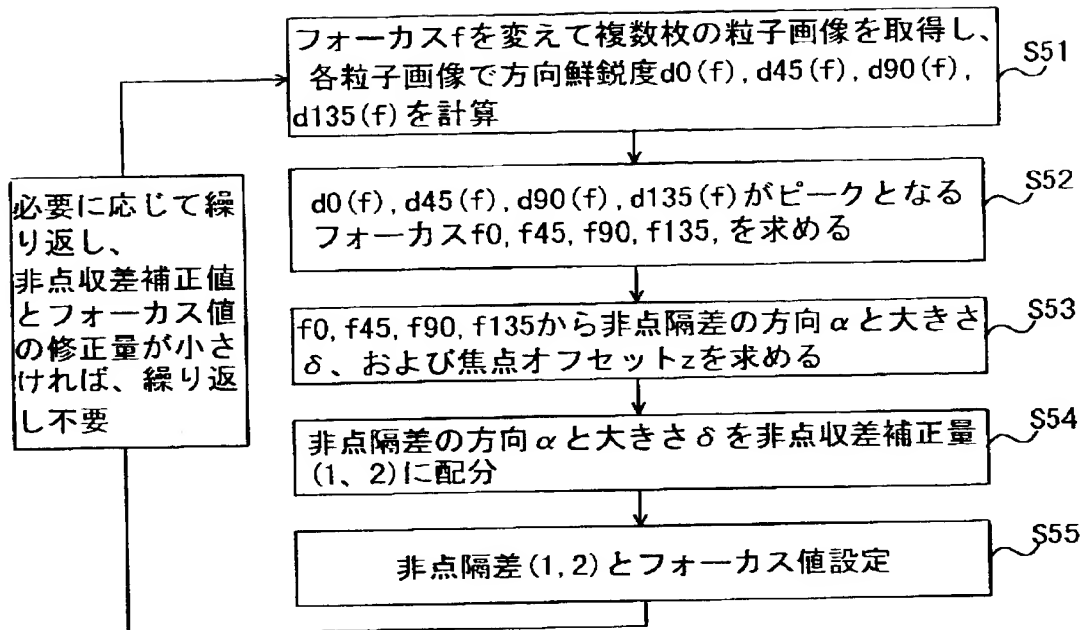
【図 4】

図 4



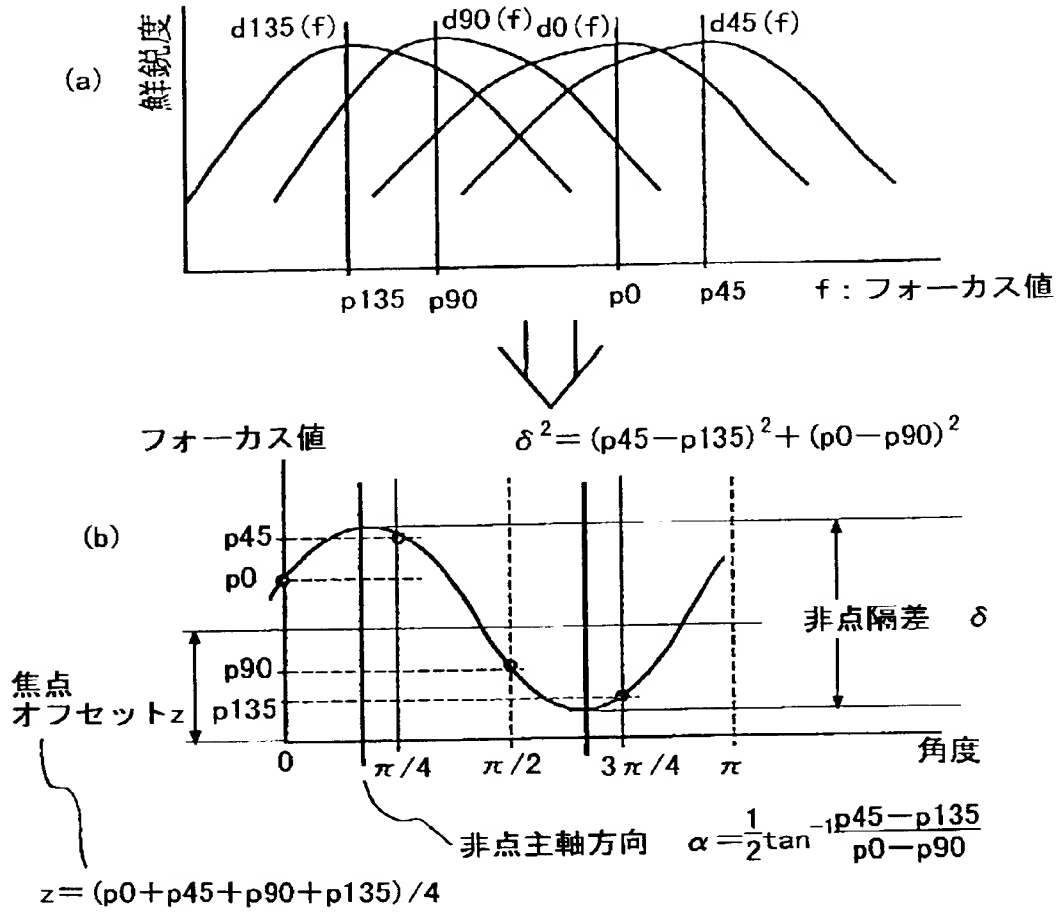
【図 5】

図 5



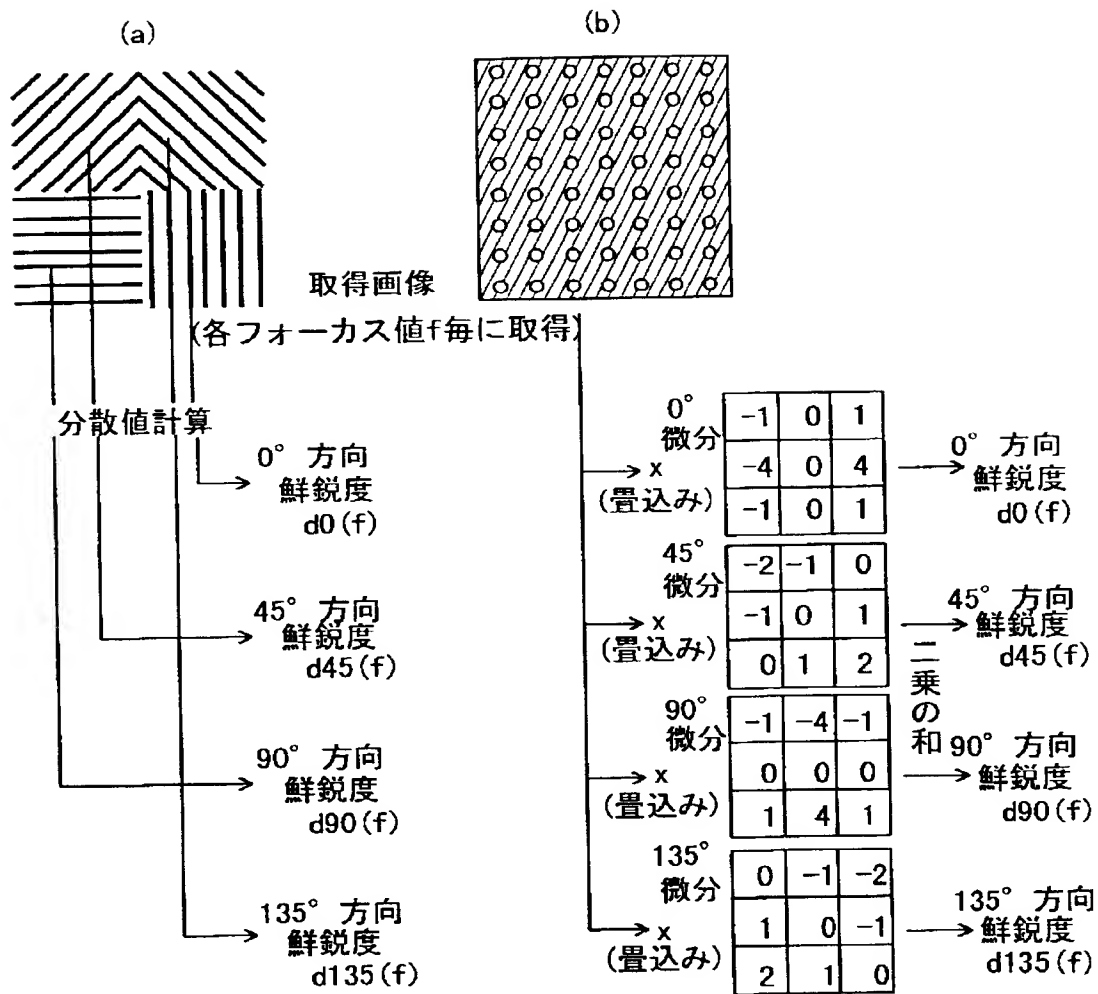
【図 6】

図 6



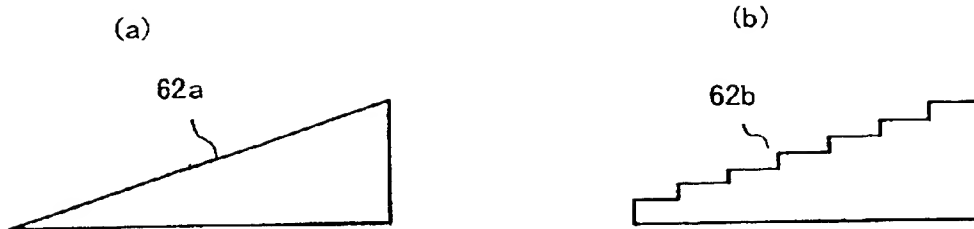
【図 7】

図 7



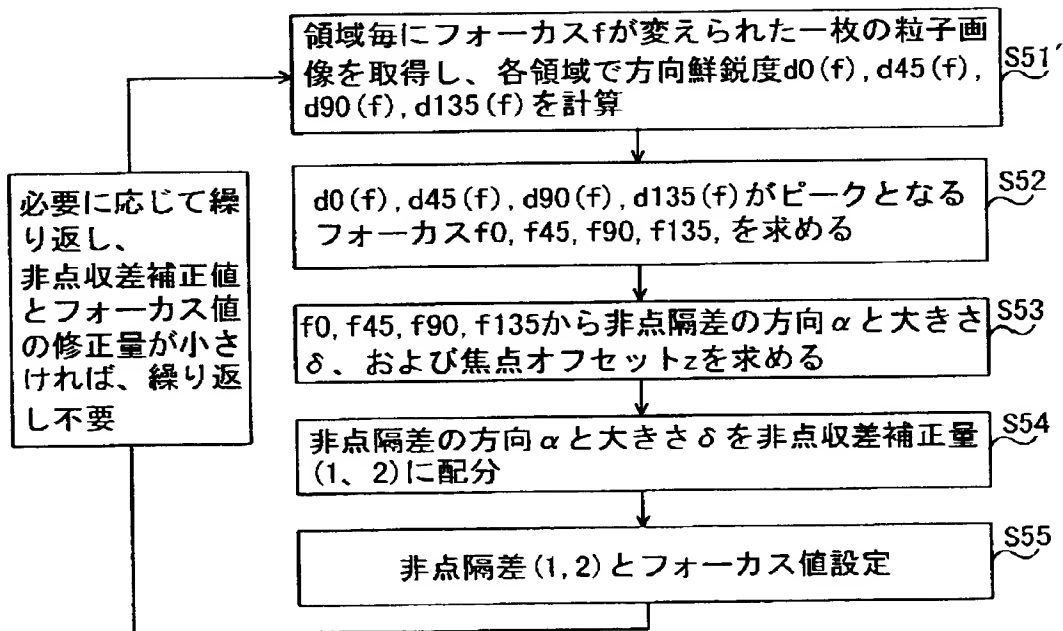
【図 8】

図 8



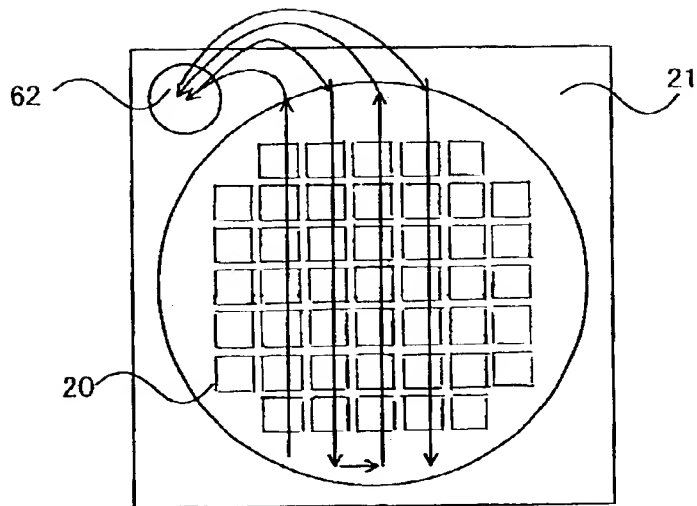
【図 9】

図 9



【図 1 0】

図 10



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

高速・高精度の非点収差・焦点調整を行なうことができるようにした荷電粒子線装置および自動非点収差補正方法を提供することにある。

【解決手段】

焦点を変化させながら取得した少数の 2 次元の粒子画像を画像処理することによって非点隔差の方向・大きさと焦点オフセットを検出し、これを 2 種類の非点収差補正量と焦点補正量に一括して変換して補正を行なうことによって高速・高精度の自動非点・焦点調整を実現する。また、焦点が画像内の位置によって異なる 2 次元の粒子画像を得て、更に高速の自動非点・焦点調整を実現する。

さらに、本自動非点収差・焦点調整を用いて高精度の検査・計測を長時間にわたって実現する装置を実現する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 1 0 8]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 3 1 日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地
氏 名 株式会社日立製作所